UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE
L2PCSM

TD de Relativité Restreinte 2025

Exercice 1

Un mobile O' s'éloigne de la Terre à une vitesse constante u, dans une direction Ox normale à un miroir fixé sur Terre en O.

Soient (R) et (R') les référentiels galiléens liés respectivement à la Terre (donc au miroir) et au mobile. On synchronise les horloges dans (R) et (R') à l'instant t = t' = 0 où les origines O et O' coïncident.

Un signal lumineux de durée très brève est émis par le mobile O' vers le miroir, qui à son tour, le réfléchit instantanément vers le mobile. L'observateur terrestre note l'arrivée du signal sur le miroir à l'heure t = T.

1. Déterminons en fonction de T et $\beta = \frac{u}{c}$ les coordonnées des événements suivants dans (R) et dans (R').

a. Evénement E : réflexion du signal sur le miroir

b. Evénement E_2 : arrivé du signal réfléchi en O'

En déduire la relation entre t'_1 et t'_2, si t'_1 et t'_2 désignent les instants d'émission et d'arrivée du signal en O' mesurés dans (R').

Exercice 2

On étudie la chute d'une règle AB, de longueur propre L, dans le référentiel terrestre (R) et dans le référentiel (R') lié à un observateur qui se déplace à la vitesse u = βc par rapport à (R), le long de l'axe Ox horizontal. A l'instant t = t' = 0, les deux référentiels coïncident.

1°) La règle tombe suivant l'axe vertical oy de (R) avec une vitesse constante v = - αc (0 < α < 1).

Exprimer dans (R'), les composantes des extrémités A et B en fonction du temps t'

2°) La règle tombe verticalement, en restant parallèle au sol horizontal, à la vitesse constante v = - αc ; l'extrémité A décrit l'axe vertical Oy.

L'intervalle de temps qui sépare les chocs des deux extrémités de la règle sur le sol est T' pour l'observateur de (R'). En déduire

a) La vitesse u de R' par rapport à R.

b) La distance des points de contact des extrémités de la règle avec le sol, dans (R').

Application numérique : L = 1,50 m ; $T' = 10^{-9}$ s.

Exercice 3 :

Un observateur A est à bord d'une fusée F qui se déplace d'un mouvement rectiligne uniforme, suivant la direction ox du référentiel R, oxyz lié à la terre, à la vitesse $u = \beta c$ avec

$\beta = 0.25$

Un autre observateur B , immobile en O sur la terre, commence à chronométrer la durée d'un événement à l'instant où la fusée passe au dessus de lui (les deux observateurs règlent leur chronomètre à la même heure $t = t' = 0$). Au bout du temps $t'_1 = 1$ h, mesuré par le chronomètre de l'observateur A , ce dernier émet un signal lumineux en direction de l'observateur B. L'observateur B immobile doit arrêter son chronomètre dès qu'il reçoit ce signal.

1) Exprimer en fonction de β et t'_1 , puis calculer la durée T de l événement, mesurée par le chronomètre de l'observateur B

2) Exprimer en fonction de β et t'_1, puis calculer la durée T' de l'événement, mesurée par le chronomètre de l'observateut A.

Exercice 4 :

Deux frères jumeaux A et b ont 10 ans, l'un d'eux A quitte la terre à bord d'une fusée pour un voyage interplanétaire à grande vitesse : $v = 0.6$ c, et revient sur terre où l attend son frère B. On néglige les durées des phases accélérées ou décélérées (départ, demi- tour). Le jour où A retourne sur terre, son frère B a 20 ans.

1. Quel est l âge de A à son retour sur terre
2. Le jour de l'arrivée de A sur terre, B effectue à son tour un voyage interplanétaire, le voyage aller à la vitesse v et le voyage retour à la vitesse 4/3 v de façon qu'à son retour sur terre, A et B ont de nouveau exactement le même âge. Quel est l'âge commun de A et B à la fin du voyage de B ? $v = 0.6$ c

Exercice 5 :

Une fusée de longueur L_0 (dans le référentiel de la fusée) quitte la terre à la vitesse **4/5 c**. A sa poursuite, un signal lumineux est envoyé depuis la terre qui arrive à la queue de la fusée au temps **t=0** pour les horloges de la fusée et de la terre ;

1) Quand le signal atteint-il le nez de la fusée pour les horloges de la fusée ?
2) Pour les horloges de la terre ?
3) Les réponses aux questions 1) et 2) ne sont pas reliées comme des intervalles de temps propre et de temps impropre. Pourquoi ?
4) Le signal lumineux est réfléchi du nez vers la queue.
5) Quand atteint – il la queue de la fusée, pour les horloges de la fusée
6) Pour les horloges de la terre ?

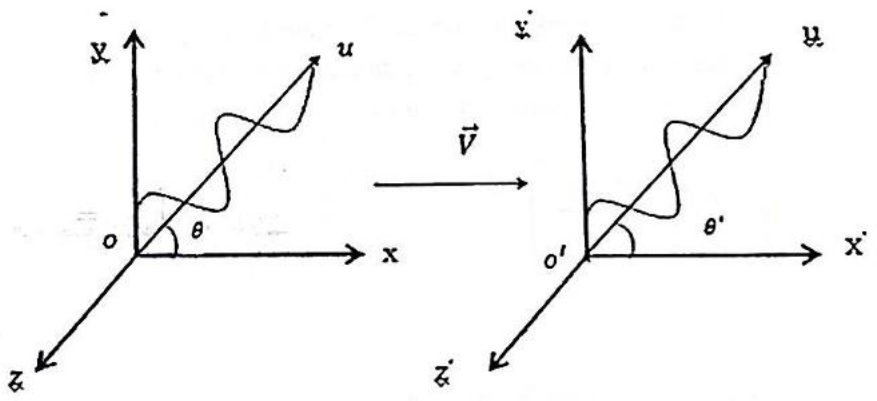
7) Les réponses à 5) et 6), sont elles reliées comme des intervalles de temps propre et de temps impropre ? pourquoi

Exercice 6 :

Une source monochromatique, fixe dans un référentiel (R) émet une onde lumineuse plane de fréquence ν dans la direction **Ou** du plan xoy, telle que $(\overrightarrow{ox},\overrightarrow{ou})=\theta$.

Un observateur est lié au référentiel (R') en translation uniforme de vitesse $\vec{V}$ parallèle à Ox.

1) En utilisant la transformation du quadrivecteur impulsion-énergie $(\vec{P}, E/c)$ d'un photon associé à l'onde lumineuse, déterminer en fonction de ν, θ et β;
   a. la fréquence ν' de l'onde mesurée par l'observateur.
   b. la direction de propagation, par rapport à Ox, de l'onde lumineuse perçue par l'observateur
2) Cas particulier : Comparer ν et ν', puis θ et θ' si l'observateur se déplace dans la même direction que l'onde émise



Exercice 7 :

Un train d'ondes lumineuses est émis dans le référentiel fixe (R)se propage suivant la direction ox ,son équation est $y= A\sin(\frac{2\pi}{T}(t-\frac{x}{c}))$.

Un référentiel R' (O'x'y'z') est animé d'un mouvement rectiligne de translation uniforme à la vitesse $\vec{v}$ parallèlement à ox par rapport au repère fixe R

4-1 Quelle est l'équation du mouvement vibratoire dans R'

4-2 Quelle est la période T' du mouvement vibratoire dans R'

4-3 Que devient T'lorsque v est très faible par rapport à c

Exercice 8 :

Soit un référentiel (R') en mouvement de translation rectiligne et uniforme de vitesse $\vec{u}$ parallèle à $\overrightarrow{ox}$. SoitUne particule matérielle M(x, y, z, t) dans (R) et (x', y', z', t') dans(R').

1) Etablir les formules de transformation de la composante vx de la vitesse suivant $\overrightarrow{ox}$.

Correction ex 5 :

Exercice 4

4-1 Dans (R) l'équation de vibration étant $y(x,t)= A\sin\frac{2\pi}{T}(t-\frac{x}{c})$ (équation 4-1)

Les transformations de Lorentz s'écrivent pour le passage de R' à R (équations 18)

$$x=\frac{x'+Vt'}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}};y=y';z=z'ett=\frac{t'+\frac{Vx'}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}$$ en remplaçant x et t par leurs expressions données ci-

dessus on obtient

$Y(x',t') =A\sin\frac{2\pi\gamma}{T}((t'+Vx'/c^2)\frac{x'+Vt'}{c})=A\sin\frac{2\pi\gamma}{T}(t'(1-\frac{V}{c})-\frac{x'}{c}(1\frac{V}{c}))=A\sin\frac{2\pi\gamma\left(1-\frac{V}{c}\right)}{T}(t'-\frac{x'}{c})$

4-2 En posant $\frac{1}{T'}=\frac{\gamma\left(1-\frac{V}{c}\right)}{T}$ **on a y'(x',t') =A$\sin\frac{2\pi}{T'}(t'-\frac{x'}{c})$**

En remplaçant γ par son expression $(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}})$ et en simplifiant on obtient $T'=T(\sqrt{\frac{1+\frac{V}{c}}{1-\frac{V}{c}}})$ pour $\frac{V}{c}\ll$

1 on $T'\approx=T(1+\frac{V}{c})^{\frac{1}{2}}(1-\frac{V}{c})^{-\frac{1}{2}}\approx T(1+\frac{V}{c})$